

高压气扬水泵泵水效率影响因素试验研究

包艳¹, 徐振扬², 林欣然², 王翀霄², 孙阳^{2,3}

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 南京水汇能源科技有限公司, 江苏 南京 211800)

摘要:为解决我国偏远山区结构性缺水问题,开发了一套基于气液能量转换原理的新型提水装置。采用室内模型试验开展了考虑扬程、进气管直径以及泵水管直径3个因素的多工况试验研究。通过对试验数据以及观察到的试验现象的分析,探究了3个影响因素对泵水效率的影响规律,试验结果为该套装置在实际工程应用时的系统参数选取提供了科学试验依据。

关键词: 高压气扬水泵; 泵水效率; 扬程; 泵水管径; 进气管径

中图分类号:TV675; TU991.35

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)03-0150-04

Experimental study on influence factors of pumping efficiency of high pressure air pump

BAO Yan¹, XU Zhenyang², LIN Xinran², WANG Chongxiao², SUN Yang^{2,3}

(1. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic

Research Institute, Nanjing 210098, China; 2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering,

Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. ShuiHui Energy Technology Co., Ltd, Nanjing 211800, China)

Abstract: To solve the problem of structural water shortage in remote mountainous areas in China, a new type of water lifting device based on the principle of gas - liquid energy conversion was developed. A multi - condition experimental study considering the three factors of head, intake pipe diameter and pump pipe diameter was carried out by adopting indoor model test. Through the analysis of the experimental data and observed phenomena, the relationship between the three influence factors and pump water efficiency is explored, which can provide the experimental basis for the selection of the system parameters in the practical engineering application.

Key words: high pressure air pump; pump water efficiency; head; pump water pipe diameter; air inlet pipe diameter

1 研究背景

我国偏远山区居民的饮水和耕地灌溉困难是一个典型的低水头水力能开发滞后引发的民生问题^[1-4]。这些地区一般河流在山下,而人和耕地在山上,因而造成水资源丰富却缺水的状况。同时由于村落分散及电网不稳定,利用传统的电泵站很难解决供水问题^[5-8]。本文试验的研究对象是一套利用低落差水力能作为动力的提水装置,它可以利用较低的水流落差将水力能转换成气压差能,然后将气压差能转

换为机械能实现提水的功能,从而不需要消耗传统的汽、柴油或电力资源。将该套装置命名为高压气扬水泵,由于它是以一种气液能量转换的概念设计的全新泵水装置,目前国内外相关研究工作未见开展。装置所涉及的气液两相流相互作用的室内试验研究工作虽有部分报道^[9-15],但试验内容的侧重点与本装置所涉及的功能完全不同。此外,由于影响高压气扬水泵泵水效率的因素众多,且这些因素之间也会互相影响,所以须进行大量的试验以确定该套装置与泵水效率相关的系统参数设置的依据。

收稿日期:2017-09-03; 修回日期:2017-10-17

基金项目:国家自然科学基金项目(41672257); 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放研究基金项目(2016491611)

作者简介:包艳(1977-),男,内蒙古通辽人,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事流固耦合及多相流研究。

2 试验装置

高压气扬水泵是一种利用高压气体实现提水功能的水泵,图1给出了试验装置示意图,图中的管道均为PVC材质,装置主要由水源、泵水管、进气管、空气压缩机等几部分组成。为简化试验装置,本试验用空气压缩机产生的高压气体来模拟从自然界水流中搜集到的高压气体。当水与进气管输入的气体相遇时,产生气液两相流,在压强差及气体拖曳力的共同作用下,水源不断地被泵送到扬程 H 处,从而实现泵水的功能。试验涉及到的参数包括扬程 H 、泵水管直径 D 、进气管直径 d 和回水高度 T 。

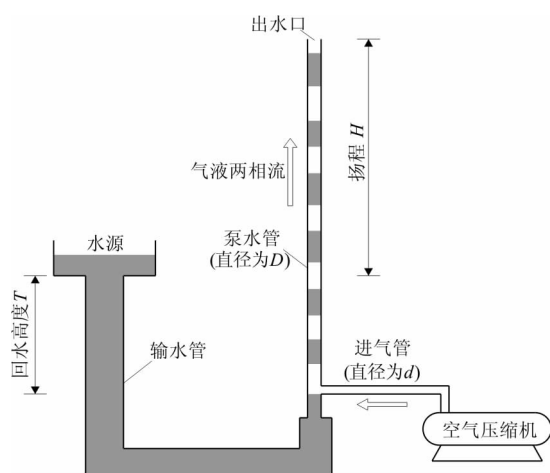


图1 试验装置示意图

3 泵水效率定义

广义的工作效率是指机械的输出功(有用功量)与输入功(动力功量)的百分比,即有用功与总功的比值。针对本试验装置而言,有用功为液体被抬起一定扬程后所具有的势能,总功为初始状态具有一定压强的气体发生等温膨胀时所做的功。故高压气扬水泵泵水效率值是以百分比表示的水做的功占气体等温膨胀功的比值,以下为推导出的高压气扬水泵泵水效率计算公式:

$$\eta = \frac{W_{\text{water}}}{W_{\text{air}}} = \frac{mgH}{\int_{V_1}^{V_2} PdV} = \frac{mgH}{\int_{V_1}^{V_2} \frac{V_1 P_1}{V} dV} = \frac{mgH}{(P_1 V_1 \ln \frac{P_1}{P_2})} \quad (1)$$

式中: η 为泵水效率; W_{water} 为被扬起水量的势能; W_{air} 为高压气压差能,高压气在常温常压下膨胀做功,逐渐与大气压强趋于一致。在自然环境下, P_2 为当地大气压,kPa; V_2 为当地大气压下对应的气体体积, m^3 ; P_1 指高压气压强,kPa; V_1 指高压状态下的

气体体积, m^3 。

由公式(1)可知,与泵水效率直接相关的因素为气体的压强、耗气体积、提水量和扬程。而图1试验装置中的进气管直径 d 、泵水管直径 D 、回水高度 T 等与上述因素之间均有一定的联系。高压气扬水泵装置不同的结构参数之间相互影响,是一个综合性的系统,因此要获得高压气扬水泵泵水效率的最优值,需要通过大量的系统性试验探究各个参数之间的关系及其对泵水效率的影响。

4 扬程与泵水效率的关系

图2、3表示在 $D=20\text{ mm}$ 、 $T=3\text{ m}$ 的条件下,扬程 H 在3~12 m之间变化、进气管直径 d 分别为3、4 mm时的不同扬程泵水效率与压力之间的变化关系。由图2、3可以看出,随着进气压力的逐渐增加,不同扬程的泵水效率均呈现出先上升后降低的趋势。这是由于压力继续增大后,高压气体不能够被充分利用而产生了部分浪费,导致泵水效率逐渐降低。另外,一般当压力值在32~34 kPa之间时,泵水效率达到最大值。泵水效率的最大值随着扬程的改变而发生明显变化,通过分析可以确定,扬程每增大3 m,则泵水效率最大值平均下降约5%。将图2、3进行对比还可以看出,当进气管直径较小时,泵水效率与压力的关系随着扬程的不同而较为散乱;当进气管直径增大之后,不同扬程泵水效率随压力的变化曲线趋于接近。

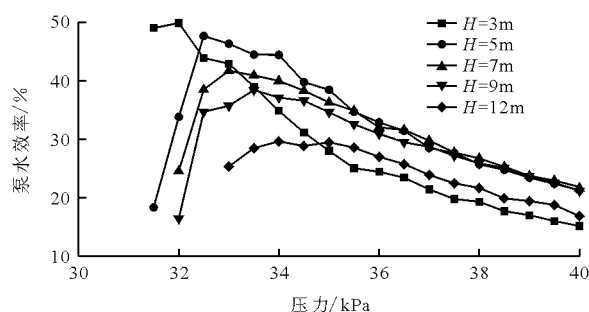


图2 不同扬程泵水效率与压力的关系($d=3\text{ mm}$)

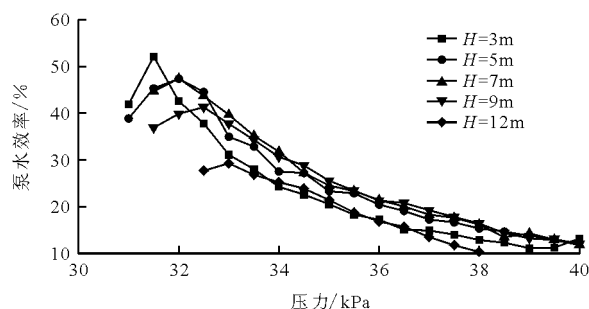


图3 不同扬程泵水效率与压力的关系($d=4\text{ mm}$)

5 进气管直径与泵水效率的关系

图4、5表示在 $T=3\text{ m}$ 、 $H=6\text{ m}$ 的条件下,进气管直径 d 在 $3.0\sim 4.5\text{ m}$ 之间变化、泵水管直径 D 分别为 20 、 25 mm 时的不同进气管直径泵水效率与压力之间的变化关系。由图4、5可看出,在进气管直径较小时,泵水效率与压力的关系尚不明显;当进气管直径增大到一定程度时,达到泵水效率峰值所需的压力值逐渐减小。在峰值右侧的泵水效率下降过程中,进气管直径越小,下降越缓慢,其原因可能是在较大的压力条件下(压力已超过最大泵水效率所需压力),进气管直径大的情况下所输入的高压气体量多于进气管直径小的情况,导致泵管中大部分空间被气体占有,使得泵水效率降低的更快。另外,对比图4和5还发现,进气管直径的改变对于泵水效率的最大值影响不大。

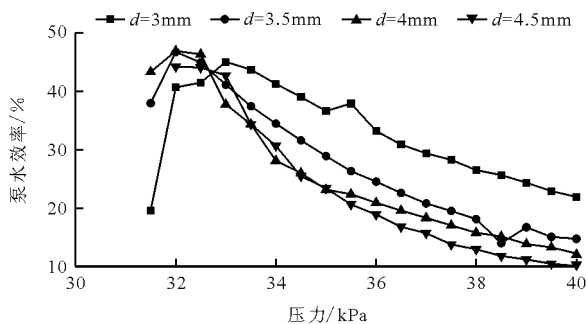


图4 不同进气管直径泵水效率与压力的关系($D=20\text{ mm}$)

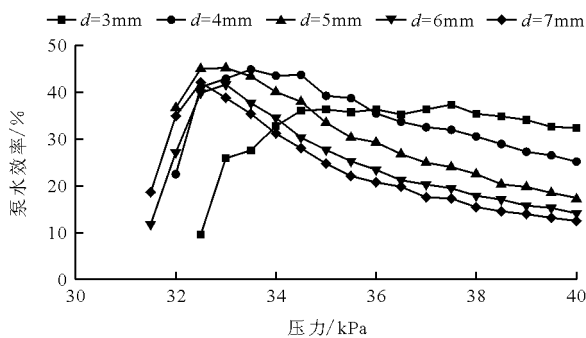


图5 不同进气管直径泵水效率与压力的关系($D=25\text{ mm}$)

6 泵水管直径与泵水效率的关系

图6、7分别表示在 $T=5\text{ m}$ 、 $H=10\text{ m}$ 的条件下,泵水管直径 D 在 $16\sim 32\text{ mm}$ 之间变化、进气管直径 d 分别为 4 、 5 mm 时的不同泵水管直径对泵水效率与压力关系的影响。由图6、7可以看出,不同泵水管直径的泵水效率均随压力先增大后减小的大体趋势没有改变,同时对泵水效率的峰值影响不大;在峰值右侧的下降区域中, D 较大时的泵水效率明

显大于 D 较小时,如在 $d=4\text{ mm}$ 的试验中,当压力为 58 kPa 时, $D=16$ 、 20 、 25 、 32 mm 所达到的泵水效率分别为 8.12% 、 19.35% 、 33.20% 和 38.05% ;随着 D 的增大,达到最大泵水效率时对应的压力值也逐渐增大,如在 $d=4\text{ mm}$ 的试验中, $D=16$ 、 20 、 25 、 32 mm 时,达到最大泵水效率所需压力分别为 50.5 、 52.0 、 54.0 和 57.5 kPa ,其原因可能是随着 D 增大,若想达到最大的泵水效率,泵水管中就需要更多的高压气体,而在进气管直径一定的条件下,欲增大高压气体的量就需要更大的压力。另外根据曲线的变化趋势还可以发现 D 较大时,泵水效率随压力的变化出现多组峰值情况。

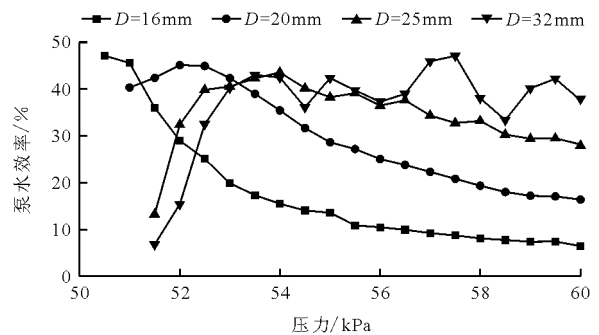


图6 不同泵水管直径泵水效率与压力的关系($d=4\text{ mm}$)

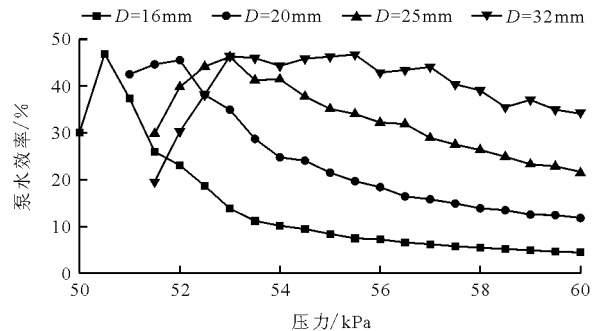


图7 不同泵水管直径泵水效率与压力的关系($d=5\text{ mm}$)

7 结论

(1) 总体上看,泵水效率随压力的增大呈现出先增大后减小的趋势;泵水效率在减小的过程中,进气管直径越小,则下降越缓慢。

(2) 泵水管直径变化时,泵水管直径较大情况下的泵水效率明显大于直径较小的情况;泵水管直径越大,达到最大泵水效率时对应的压力值也越大。

(3) 在充分的压力条件下,进气管直径与泵水效率成反比。为获得较高且稳定的泵水效率,宜采用小直径进气管。

(4) 当所需扬程一定时,回水高度的增加使得

回水高度处至进气管处之间的压差增大,提高了试验装置的提水能力,故可考虑在实际工程应用中通过提高回水高度充分发挥该装置的性能。

参考文献:

- [1] 刘斌涛,陶和平,孔博,等. 云南省水资源时空分布格局及综合评价[J]. 自然资源学报,2014,29(3):454-465.
 - [2] 黄文典,李嘉,李永,等. 四川秦巴山区水资源分布特征及平衡分析[J]. 国土资源科技管理,2016,33(2):31-37.
 - [3] 王占升,卢峰. 滦河山区水资源变化趋势及成因分析[J]. 水文,2013,33(2):93-96.
 - [4] 曾伟. 对五小水利工程优化山区水资源配置的探讨[J]. 中国水运月刊,2014,14(3):238-239.
 - [5] 周玉玺,葛颜祥,周霞. 我国水资源[J]. 自然资源学报,2015,30(1):65-77.
 - [6] 郝艳飞. 我国水资源短缺现状及节水措施[J]. 水利科技与经济,2011,17(10):65-67.
 - [7] 陈灿平. 我国水资源问题的成因分析和对策研究[J]. 西南民族大学学报(人文社科版),2014(6):141-144.
 - [8] 胡德胜. 关于改进我国水资源区分类体系的探讨:基于水资源管理范围演进的视角[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2016,37(4):21-26.
 - [9] 施红辉,高聚瑞,贾会霞,等. 物体高速出水过程中的空化气液两相流流型研究[J]. 中国科学院大学学报,2016,33(2):271-276.
 - [10] 宋红伟,郭海敏,戴家才. 倾斜及水平井气液两相流层状流流动模型试验分析[J]. 石油天然气学报,2013,35(6):86-92.
 - [11] 王国玉,崔震宇,黄彪,等. 孔板通气气液两相流动特性研究[J]. 北京理工大学学报,2017,37(1):42-45.
 - [12] WU Mingming, GHARIB M. Experimental studies on the shape and path of small air bubbles rising in clean water[J]. Physics of Fluids,2002,14(7):L49-L52.
 - [13] SAISON S, WONGWISSES S. An inspection of viscosity model for homogeneous two-phase flow pressure drop prediction in a horizontal circular micro-channel[J]. International Communications in Heat & Mass Transfer,2008,35(7):833-838.
 - [14] 刘柳. 垂直上升管中气泡动力学特性实验研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
 - [15] 王红波. 非圆截面小通道内气液两相流动特性实验研究[D]. 吉林:东北电力大学,2010.
-
- (上接第149页)
- [9] 韩敬钦,李亚文,高德申,等. 循环水泵流道的三维数值模拟与优化设计[J]. 人民黄河,2012,34(2):143-145+148.
 - [10] 马涛,樊红刚,袁义发,等. 基于VOF模型的泵站进水池流场计算研究[J]. 水力发电学报,2013,32(6):244-249+255.
 - [11] 高传昌,解克宁,黄丹,等. 不同水位对泵站进水池流态影响的数值模拟[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2015,36(6):10-14.
 - [12] 杨震. 垂直升船机船舶进出船厢水动力学数值模拟研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2015.
 - [13] 戴熙武,蔡付林,花玉龙. 分段低压输水系统中堰井段水面波动数值模拟[J]. 水电能源科学,2017,35(3):89-93.
 - [14] 成立. 泵站水流运动特性及水力性能数值模拟研究[D]. 南京:河海大学,2006.
 - [15] 陆美凝. 闸站结合泵站前池水流流态的数值模拟研究[D]. 扬州:扬州大学,2011.
 - [16] 侯振伦. 电厂循环水泵房取水隧洞及进水流道试验研究和数值模拟[D]. 太原:太原理工大学,2012.
 - [17] 王晖. 循环水泵房进水前池水流特性和几何尺寸优化[D]. 太原:太原理工大学,2012.
 - [18] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
 - [19] 补舒棋,唐新军. 三种湍流模型在阶梯溢流坝数值模拟中的比较[J]. 人民黄河,2010,32(7):141-143.
 - [20] HIRT C W, NICHOLS B D. Volume of fluid (vof) method for the dynamics of free boundaries[J]. Journal of Computational Physics, 1981,39(1):201-225.
 - [21] 陆林广,陈阿萍,黄金军,等. 低扬程立式泵进水流道基本流态及水力性能的比较[J]. 南水北调与水利科技,2007,5(5):135-138.